

УДК 621.311.001.57

Д.Ю. Зубенко, О.В. Донець, В.В. Ліньков

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Україна

## ШТУЧНІ НЕЙРОННІ МЕРЕЖІ ЯКІ ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ В ЗАДАЧАХ ОПТИМІЗАЦІЇ ТЕХНІЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ РУХОМОГО СКЛАДУ ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ

*Проблеми оптимізації часто вимагають використання методів оптимізації, що дозволяють мінімізувати або максимізувати певні цільові функції. Інколи проблеми, які необхідно оптимізувати, не є лінійними чи поліноміальними; вони не можуть бути точно вирішені, і вони повинні бути апроксимовані. У цих випадках необхідно застосовувати евристику, яка здатна вирішувати такі проблеми. У цій роботі пропонується використання штучних нейронних мереж для наближення об'єктивної функції в задачах оптимізації, що дає змогу застосовувати інші методи вирішення проблеми.*

**Ключові слова:** нейронні мережі, проблеми оптимізації, нелінійна оптимізація, рухомий склад, електротранспорт

### Постановка проблеми. Аналіз останніх досліджень і публікацій

Проблеми з оптимізацією є важливою частиною програмного забезпечення та застосовуються до різних сфер, таких як інтелектуальні мережі [1], логістика [2, 3], ресурси [4] або сенсорні мережі [5]. Такі проблеми характеризуються наявністю однієї або кількох об'єктивних максимізуючих або мінімізуючих функцій [5] та різних обмежень, які необхідно виконати, щоб рішення було правильним.

Проблеми легко вирішити, коли ми працюємо з лінійними обмеженнями та цільовими функціями, тому що існують методи отримання оптимального рішення. Однак у випадку нелінійних обмежень або об'єктивних функцій може бути необхідним використання евристики [2, 5] для отримання псевдооптимального рішення.

Керування евристичними рішеннями постійно розвивається, саме тому ми шукаємо альтернативи проблемам, в яких неможливо знайти оптимальне рішення. При роботі з лінійними обмеженнями та цільовими функціями проблеми оптимізації можна вирішити за допомогою таких алгоритмів, як Simplex [6], що обмежує вивчення цього типу проблеми. Деякі нелінійні задачі можуть бути оптимально вирішені за допомогою алгоритмів, таких як множники Лагранжа або умови Куна-Таккера [7].

У багатьох випадках неможливо вирішити проблему з мультиплікаторами Лагранжа, оскільки сформована система рівнянь не може бути вирішена, не вдаючись до чисельних методів, що перешкоджає прямому підходу до вирішення проблеми. В інших випадках умови Куна-Таккера не зустрічаються.

Існує широкий спектр можливостей для вивчення проблем оптимізації, які неможливо вирішити за допомогою точного алгоритму. Ці проблеми, як правило, вирішуються шляхом застосування рішення з евристики та метаевристики, такі як генетичні алгоритми [8], оптимізація частинок рогів [9], імітаційний відпал [10], оптимізація мурашиних колоній [12] та ін. Ця робота пропонує використання нейронних мереж, таких як евристика для вирішення проблем оптимізації у тих випадках, коли використання лінійного програмування або помножувачів Лагранжа неможливе.

Для вирішення цих завдань застосовується багаточаровий персептрон для наближення об'єктивних функцій, однак той же процес можна було б дотримуватися в обмеженнях. Пропозиція встановлює використовувану функцію активації та критерії для проведення тренувань з використанням набору даних відповідно до визначеного домену змінних. Цей процес дозволяє перетворити цільові функції в інші функції, які потім можуть бути застосовані для вирішення проблем оптимізації, які можна вирішити без метаевристики. Цільова функція апроксимується нелінійною регресією з метою отримати нову функцію, яка полегшує вирішення задачі оптимізації.

Функція активації нейронної мережі повинна бути обрана таким чином, щоб похід від перетворених цільових функцій мав бути поліноміальним. Після розрахунку нових цільових функцій проблема може бути вирішена іншими методами. Цей же процес можна застосувати до обмежень, що не дорівнюють рівності, але необхідно ввести прогалини для задоволення обмежень.

## Мета статті

Створення штучної нейронної мережі яка використовується в задачах оптимізації технічної експлуатації рухомого складу електротранспорту.

## Виклад основного матеріалу

У деяких випадках проблеми оптимізації не можуть бути вирішені шляхом застосування таких методів, як Simplex або Lagrange. Такі методи, як Simplex, застосовуються лише тоді, коли проблеми є лінійними, тому алгоритм не може бути належним чином застосований, коли цільова функція або обмеження нелінійні.

Лагранж дозволяє вирішити проблеми оптимізації, навіть якщо проблеми не є лінійними, але не завжди можливо вирішити рівняння після застосування Лагранжа. Коли точні алгоритми не дозволяють отримати оптимальне рішення, необхідно застосувати алгоритми евристики та метагеостіки.

Деякі евристики, такі як оптимізація колонії мурашок, орієнтовані на вирішення таких, як процеси управління [14]. Автори цього дослідження [14] застосували нечіткі логіки в нелінійному процесі для підвищення ефективності процесу навчання з урахуванням часу виконання. Інші варіанти, такі як імітаційний відпал або PSO (Particle Swarm Optimization), широко застосовуються в функціях оптимізації.

Загалом, для вирішення задач оптимізації можна застосувати кілька еволюційних алгоритмів, як це видно в різних дослідженнях [9, 14]. У математиці існують методи евристики, що працюють з апроксимаційними функціями. Функції наближення, як правило, визначаються навколо точки, що дасть можливість використовувати поліноми для наближення функцій за допомогою застосування теореми Тейлора.

Виходячи з цієї ідеї, можна було б вирішувати нелінійні задачі оптимізації, застосовуючи нелінійні функції Тейлора. Ця ідея була застосована в таких алгоритмах, як Френк-Вулф [15], який дозволяє лінеаризувати цільові функції, застосовуючи похідні в точці для обчислення прямих, плоских або гіперплощинних хрестів через цю точку. Рішення обчислено ітеративно за допомогою нової гіперплощини для кожної ітерації. MAP (Метод програмування наближення) - це узагальнення алгоритму Френка-Вулфа, що дозволяє лінеаризувати обмеження. Ця робота пропонує провести таке наближення більш загальноприйнятим чином, що дає змогу вирішити проблему без необхідності розрахувати нове наближення для кожного попереднього рішення. Ми пропонуємо це зробити, застосовуючи нейронні мережі.

Чим нижче різниця між значеннями команд, тим нижча помилка визначення порогу.

$$a_i \leq x_i \leq b_i \quad (1)$$

$$x_i \geq a_i$$

$$x_i \leq b_i$$

Отже, обмеження, визначені відповідно до (2) шляхом включення порогу

$$r_s(x_1, \dots, x_n) \leq 0 \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^m w_{jk} f(\sum_{i=1}^n w_{ij} x_i(t) + \theta_j) + \theta_k + \mu_s = 0 \quad (3)$$

Нарешті, задача оптимізації, яка буде визначена відповідно до виразу (4)

$$f(x_1, \dots, x_n) = \sum_{j=1}^{m^1} w_{jk}^1 f(\sum_{i=1}^{n^1} w_{ij}^1 x_i^1(t) + \theta_j^1) + \theta_k^1 \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^{m^1} w_{jk}^1 f(\sum_{i=1}^{n^1} w_{ij}^1 x_i^1(t) + \theta_j^1) + \theta_k^1 + \mu_s^1 = 0$$

$$\sum_{j=1}^{m^n} w_{jk}^n f(\sum_{i=1}^{n^n} w_{ij}^n x_i^n(t) + \theta_j^n) + \theta_k^n + \mu_s^n = 0$$

Будучи альтернативою використанню нейронних мереж, було б також можливе використання інших методів для наближення функцій, таких як застосування векторної регресії підтримки (SVR). SVR може наближати функції як лінійну комбінацію в просторі з більш високими дименсіями, ніж оригінал.

## Висновки

В результатах, система здатна наближати цілі функції до багатопланового персептрона і використовувати ці наближення для вирішення задач оптимізації. У деяких випадках метаевристика не може забезпечити рішення, яке відповідає обмеженню, хоча розрахунок, розрахований з новою цільовою функцією, не збігся.

Основний недолік пропозиції полягає в тому, що необхідно тренувати нейронну мережу, і необхідно використовувати Лагранж або Кун-Таккера з нейронною мережею; це робить неможливим використання будь-якої функції активації, таку як сигмоподібна.

У пропозиції використовується функція активації арктана, оскільки її похідна є поліноміальною, що дозволяє вирішувати сформовану систему рівнянь з Лагранжа або Куна-Таккера.

Головною проблемою пропозиції є те, що при приблизних обмеженнях рівності ми повинні мати справу з невеликими помилками, і рішення не буде дійсним; в інших видах обмежень ми можемо запровадити поріг, щоб отримати дійсні рішення.

## References

1. Rios-Mercado, R.Z & Conrado, Borraz-Sánchez (2015) Optimization problems in natural gas transportation systems: A state-of-the-art review. *Applied Energy*, 147, 536–555.
2. Wang, Y., Ma, X., Xu, M., Liu, Yong., Wang, Y. (2015) Two-echelon logistics distribution region partitioning problem

- based on a hybrid particle swarm optimization–genetic algorithm, 42(12), 5019–5031
3. Salari, M., Reihaneh, M., Sabbagh, M.S. (2015) Combining ant colony optimization algorithm and dynamic programming technique for solving the covering salesman problem. *Computers & Industrial Engineering*, 83, 244–251.
  4. Zheng, X.L., Wang, L. (n.d.) A multi-agent optimization algorithm for resource constrained project scheduling problem. *Expert Systems with Applications, In Press*.
  5. Lanza-Gutierrez, J.M., Gomez-Pulido, J.A. (2015) Assuming multiobjective metaheuristics to solve a three-objective optimization problem for Relay Node deployment in Wireless Sensor Networks. *Applied Soft Computing*, 30, 675–687.
  6. Ploskas, N., Samaras, N. (2015) Efficient GPU-based implementations of simplex type algorithms. *Applied Mathematics and Computation*, 250, 552–570.
  7. Kuhn, H. W., Tucker, A. W. (1951) Nonlinear Programming. *Proceedings of the Second Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability*, University of California Press, Berkeley, Calif., 481–492.
  8. Wang, Y. (2014) The hybrid genetic algorithm with two local optimization strategies for traveling salesman problem. *Computers & Industrial Engineering*, 70, 124–133.
  9. Li, L., Yu, Z., Chen, Y. (n.d.) Evacuation dynamic and exit optimization of a supermarket based on particle swarm optimization. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 416, 157–172.
  10. Kolonko, M. (2009) Some new results on simulated annealing applied to the job shop scheduling problem. *European Journal of Operational Research*, 113(1), 123–136.
  11. Hannah, L.A. (2015) Stochastic Optimization. *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences (Second Edition)*, 473–481.
  12. İnkaya, T., Kayaligil, S., Özdemirel, N.E. (2015) Ant Colony Optimization based clustering methodology. *Applied Soft Computing*, 28, 301–311.

13. Yang, J., Zhuang, Y. (2010) An improved ant colony optimization algorithm for solving a complex combinatorial optimization problem. *Appl. Soft Comput.*, 10 (2), 653–660.
14. Bououden, S., Chadli, M., Karimi, H.R. (2015) An ant colony optimization-based fuzzy predictive control approach for nonlinear processes. *Information Sciences*, 299, 143–158.
15. Nanculef, R., Frandi, E., Sartori, C., Allendea, H. (2014) A novel Frank–Wolfe algorithm. *Analysis and applications to large-scale SVM training, Information Sciences*, 285, 66–99.

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. М.Ф. Смирний, Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Україна.

**Автор:** ЗУБЕНКО Денис Юрійович  
доцент, к.т.н.

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова

E-mail – Denis04@ukr.net

ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6736-7849>

**Автори:** ДОНЕЦЬ Олександр Вадимович  
доцент, к.т.н.

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова

E-mail – Denis04@ukr.net

ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6265-8508>

**Автори:** ЛІНЬКОВ Віктор Васильович  
доцент, к.т.н.

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова

E-mail – Denis04@ukr.net

ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0246-0513>

## ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS USED IN THE PROBLEMS OF OPTIMIZING THE TECHNICAL OPERATION OF THE ELECTRIC TRANSPORT MOVABLE COMPOSITION

D. Zubenko, O. Donets, V. Linkov

O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Ukraine

Optimization problems often require the use of optimization techniques, which minimize or maximize certain target functions. Sometimes the problems that need to be optimized are not linear or polynomial; they can not be precisely resolved, and they must be approximated. In these cases, it is necessary to apply a heuristic that is capable of solving such problems. Some algorithms linearize the constraints and objective functions at a certain point of space, using derivatives and partial derivatives for some cases; in other cases, evolution algorithms are used to approximate the solution. In this paper, we propose the use of artificial neural networks to approximate the objective function in optimization problems, which allows us to apply other methods of solving the problem. The target function is approximated by nonlinear regression, which can be used to solve the optimization problem. The derivative of the new target function must be polynomial so that one can calculate the solution to the optimization problem.

Recently, many methods and algorithms of automated control of the technical state of rolling stock of electric vehicles, both foreign and domestic scientists, are being developed. This is due to increasing requirements for transport companies operating in difficult circumstances of uncertainty about future factors affecting the company's performance. Fuzzy predictability of future actions determines the generation and decision making using the fuzzy logic tool. In the article the authors analyze the existing approaches to optimization of intelligent transport management systems. The urgency of the topic is due to a number of issues that exist when making the optimal solution for transport companies, while complying with the conditions of minimum use of the main resources, and ensuring the safe operation of the enterprise as a whole. The positive scientific result in this article is that the concept of constructing hierarchical intelligent control systems by complex dynamic-changing objects of transport enterprises, operating in conditions of significant uncertainty, is proposed. Among them, it is possible to define multilevel intelligent control and control systems as part of algorithmic support. In this case, it is necessary to apply management algorithms based on the use of knowledge, teaching methods, soft computing, neural networks based on fuzzy logic.

**Keywords:** neural networks, optimization problems, nonlinear optimization, rolling stock, electric transport.